

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



24 MAR 2005 28 868



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. April 2004 (15.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/032216 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 21/28,  
29/51

PERFORMANCE MICROELECTRONICS / INSTITUT FÜR INNOVATIVE MIKROELEKTRONIK [DE/DE]; Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt/Oder (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010625

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. September 2003 (24.09.2003)

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÜSSIG, Hans-Joachim [DE/DE]; Friedrich-Kind-Str. 11, 01259 Dresden (DE). SCHMEIßER, Dieter [DE/DE]; Wernerstrasse 54, 03046 Cottbus (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: EISENFÜHR, SPEISER & PARTNER; Anna-Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin (DE).

(30) Angaben zur Priorität:  
102 45 590.2 26. September 2002 (26.09.2002) DE

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

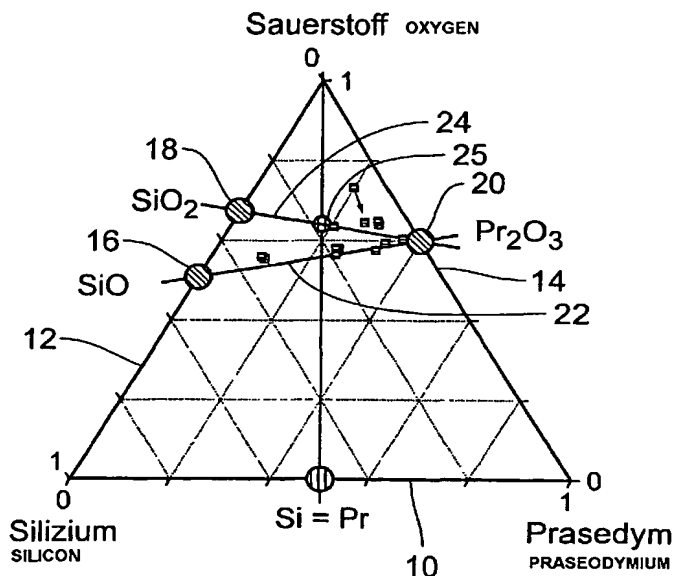
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): IHP GMBH - INNOVATIONS FOR HIGH

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SEMI-CONDUCTOR DIELECTRIC COMPONENT WITH A PRASEODYMIUM OXIDE DIELECTRIC

(54) Bezeichnung: HALBLEITERBAULEMENT MIT PRASEODYMOXID-DIELEKTRIKUM



(57) Abstract: The invention relates to a semi-conductor component having a layer containing silicon and a praseodymium oxide layer, whereon a mixed oxide layer containing silicon, praseodymium and oxygen is arranged between the silicon layer and the praseodymium oxide layer. The layer has a maximum thickness of 5 nanometers. The invention also relates to a method for producing one such semi-conductor component. With the aid of the mixed oxide layer, which contains a silicon oxide intermediate layer, the capacity of the component can be improved in relation to components known per se. High charge carrier movement is also obtained without the need for a silicon oxide intermediate layer.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/032216 A1

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement mit einer siliziumhaltigen Schicht und einer Praseodymoxidschicht, bei dem zwischen der Siliziumschicht und der Praseodymoxidschicht eine Mischoxidschicht enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff angeordnet ist. Die Schicht weist eine Dicke von maximal 5 Nanometern auf. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Herstellungsverfahren für ein solches Halbleiterbauelement. Mit Hilfe der Mischoxidschicht kann einerseits die Kapazität des Bauelements gegenüber bisher bekannten Bauelementen, die eine Siliziumoxid-Zwischenschicht enthalten, verbessert werden. Zum anderen wird eine hohe Ladungsträgerbeweglichkeit ohne die Notwendigkeit einer Siliziumoxid-Zwischenschicht erzielt.

---

### Halbleiterbauelement mit Praseodymoxid-Dielektrikum

---

Die Erfindung betrifft ein Halbleiterbauelement mit einer siliziumhaltigen Schicht und einer Praseodymoxidschicht. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen elektronischen Bauelementes.

Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Schichten auf Si(001)-Substraten sind wegen ihrer vergleichsweise großen Dielektrizitätskonstanten ( $k \approx 30$ ) besonders geeignet, das traditionelle gatedielektrische Material SiO<sub>2</sub> in der Sub-0,1 µm-CMOS-Technologie zu ersetzen. Es wird jedoch allgemein davon ausgegangen, dass eine ultradünne SiO<sub>2</sub>-Schicht zwischen dem Si-Substrat und einem alternativen dielektrischen Material notwendig ist, um Bindungen und Ladungen aneinander anzupassen und mechanische Spannungen abzubauen und auf diese Weise eine hohe Ladungsträgerbeweglichkeit zu erzielen.

Wie folgende Betrachtung zeigt, verringert eine solche dünne SiO<sub>2</sub>-Zwischenschicht die dielektrische Wirksamkeit des Ersatzmaterials. Wenn wir davon ausgehen, dass die Dicke  $t_{\text{high-}k}$  des alternativen Dielektrikums dieselbe Kapazität bewirken soll wie eine SiO<sub>2</sub>-Schicht mit der äquivalenten Dicke  $t_{\text{eq}}$ ,  
5 ergibt sich

$$t_{\text{high-}k} = (k_{\text{high-}k} / k_{\text{SiO}_2}) t_{\text{eq}} , \quad (1)$$

worin  $k_{\text{SiO}_2}$  die Dielektrizitätskonstante des SiO<sub>2</sub> ist. Da die SiO<sub>2</sub>-Zwischenschicht eine in Reihe mit dem alternativen Dielektrikum geschaltete zweite Kapazität  $C_{\text{SiO}_2}$  darstellt, lässt sich die resultierende Kapazität wie folgt berechnen:  
10

$$1/C_{\text{res}} = 1/C_{\text{high-}k} + 1/C_{\text{SiO}_2} , \quad (2)$$

wobei  $C_{\text{high-}k}$  die Kapazität der dielektrischen Schicht ist. Unter Verwendung von (1) erhält man dann für die äquivalente Dicke des Schichtsystems  $t_{\text{eq}}^s$ , bestehend aus einer dünnen SiO<sub>2</sub>-Schicht  $t_{\text{SiO}_2}$  und der dielektrischen Schicht  $t_{\text{high-}k}$ ,  
15

$$t_{\text{eq}}^s = t_{\text{SiO}_2} + (k_{\text{SiO}_2} / k_{\text{high-}k}) t_{\text{high-}k} , \quad (3)$$

Aus (3) folgt unmittelbar, dass die minimal erreichbare äquivalente Oxiddicke  $t_{\text{eq}}^s$  niemals kleiner sein kann als die Dicke  $t_{\text{SiO}_2}$  der SiO<sub>2</sub>-Schicht. Deshalb ist die mit dem Einsatz eines Materials mit großer Dielektrizitätskonstante angestrebte Zunahme der Kapazität gefährdet.  
20

Während eine sehr große Kapazität der Schicht bei extrem geringen Leckströmen wesentlich ist für die Anwendung des Materials in dynamischen RAMs (DRAMs), sind sehr hohe Interfacequalität und Ladungsträgerbeweglichkeit im Kanal maßgeblich für den Einsatz des Materials in MOSFETs.

25 Das der Erfindung zu Grunde liegende technische Problem besteht darin, ein Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art mit ausreichend hoher Kapazität und Ladungsträgerbeweglichkeit auch bei besonders geringen Ausmaßen anzugeben. Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen elektronischen Bauelements anzugeben.

30 Hinsichtlich des Halbleiterbauelements wird das Problem gelöst durch ein Halbleiterbauelement mit einer siliziumhaltigen Schicht und einer Praseodym-

oxidschicht, bei dem zwischen der Siliziumschicht und der Praseodymoxidschicht eine Mischoxidschicht enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff angeordnet ist, die eine Schichtdicke von weniger als 5 Nanometern aufweist.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass ein Mischoxid enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff geeignet ist, die vorteilhaften Eigenschaften der bisher üblichen  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$ -Grenzfläche mit denen des alternativen Dielektrikums Praseodymoxid (beispielsweise in der Form  $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) zu kombinieren.

Das Mischoxid, das im folgenden auch als Praseodymsilikat bezeichnet wird, hat im Vergleich zu Siliziumoxid eine größere Dielektrizitätskonstante. Unter der Annahme, dass die Mischoxidschicht die gleiche Dicke besitzt, wie eine sonst notwendige Siliziumoxid-Zwischenschicht zwischen dem siliziumhaltigen Substrat und dem Praseodymoxid, verringert sich nach Gleichung (3) die minimal erreichbare äquivalente Oxiddicke um einen Faktor, der dem Verhältnis der Dielektrizitätskonstanten von Praseodymsilikat und Siliziumoxid entspricht.

Die Mischoxidschicht bewirkt eine hohe Ladungsträgerbeweglichkeit bei dem erfindungsgemäßen Bauelement nach derzeitigem Kenntnisstand dadurch, dass an der Grenzfläche zur siliziumhaltigen Schicht Si-O-Bindungen und keine Si-Pr-Bindungen bestehen. Die Si-O Bindungen bewirken elektrische Eigenschaften, wie sie von der  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$ -Grenzfläche her bekannt sind.

Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Mischoxidschicht gelingt es demnach, einerseits eine sehr hohe Grenzflächenqualität und andererseits eine ausreichend hohe Kapazität zu gewährleisten. Es wird ein Übergang vom siliziumhaltigen Substrat zum Dielektrikum erzielt, der alle geforderten Eigenschaften aufweist.

Die Dicke der Mischoxidschicht beeinflusst nach dem zuvor gesagten die Kapazität einer Kondensatorstruktur, die die siliziumhaltige Schicht und die Praseodymoxidschicht in einem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement umfasst. Erfindungsgemäß beträgt die Schichtdicke maximal 5 nm. Je höher der für ein erfindungsgemäßes Bauelement angestrebte Wert der Kapazität ist, desto geringer sollte die Schichtdicke der Mischoxidschicht gewählt werden.

Daher werden meist geringe Schichtdicken der Mischoxidschicht bevorzugt. In einer Ausführungsform der Erfindung weist die Mischoxidschicht eine Schichtdicke maximal 3 nm auf.

Bei einer derzeit besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Mischoxidschicht eine pseudobinäre, nicht stöchiometrische Legierung des Typs  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  oder ein Silikat dieses Typs.

Der Wert von  $x$  hat sich als unter anderem von der Schichtdicke abhängig  
5 herausgestellt. Das heißt, bei Bauelementen mit unterschiedlichen Dicken der Mischoxidschicht unterscheiden sich die Koeffizienten  $x$ . Der Koeffizient  $x$  nimmt mit der Schichtdicke zu. Eine eingehende Analyse der Zusammensetzung des Mischoxids, gekennzeichnet durch  $x$ , hat ergeben, dass im Schichtdickenbereich bis 3 nm der Wert  $x$  von 0,3 bis auf 1 mit der Dicke anwächst.

10 Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung steigt der Koeffizient  $x$  zwischen der siliziumhaltigen Schicht und der Praseodymoxidschicht an. Bei diesem Ausführungsbeispiel nimmt der Koeffizient  $x$  innerhalb der Mischoxidschicht zu.

Die siliziumhaltige Schicht besteht in einer bevorzugten Ausführungsform aus  
15 dotiertem oder undotiertem Silizium. Es kann jedoch auch eine dotierte oder undotierte Silizium-Germanium-Legierung in der siliziumhaltigen Schicht vorgesehen sein. Wird eine Silizium-Germanium-Legierung verwendet, kann zusätzlich Stickstoff in die siliziumhaltige Schicht eingebaut werden, um eine Grenzfläche hoher Qualität zu erzielen.

20 Dabei hat die siliziumhaltige Schicht an der Grenzfläche zur Mischoxidschicht vorzugsweise eine (001)-Orientierung. Auf diese Weise wird eine besonders hohe Grenzflächenqualität erzielt.

Das erfindungsgemäße Bauelement kann vorzugsweise insbesondere in Form eines MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) oder in  
25 Form eines Speicherbauelements in einem RAM-Baustein (Random Access Memory) wie einem dynamischen ROM (DROM) Anwendung finden.

Hinsichtlich ihres Verfahrensaspektes wird die Aufgabe gelöst durch ein Herstellungsverfahren für ein elektronisches Bauelement mit einem Schritt des Abscheidens einer Praseodymoxidschicht auf einer siliziumhaltigen Schicht,  
30 bei dem vor dem genannten Abscheideschritt ein Schritt des Abscheidens einer Mischoxidschicht enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff bei einer Substrattemperatur von weniger als 700°C erfolgt.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Erkenntnis, dass das ihm zu Grunde liegende Problem zu lösen ist, wenn es gelingt, das alternative dielektrische Material Praseodymoxid  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  so auf  $\text{Si}(001)$  zu wachsen, dass keine  $\text{SiO}_2$ -Zwischenschicht entsteht und auch eine solche Schicht nicht notwendig ist, um eine ausreichend hohe Ladungsträgerbeweglichkeit zu erhalten.

Dies gelingt, indem eine Mischoxidschicht auf der Silizium enthaltenden Schicht aufgewachsen wird. Diese Mischoxidschicht enthält Silizium, Praseodym und Sauerstoff.

- 10 Von großer Bedeutung für die Grenzflächenqualität und damit für die Ladungsträgerbeweglichkeit ist es, dass bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement an der Grenzfläche zum Substrat keine Silizide gebildet werden. Hier wird in erfinderischer Weise die Tatsache genutzt, dass im Temperaturbereich bis  $800^\circ\text{C}$  Praseodym-Ionen an der Oberfläche des siliziumhaltigen
- 15 Substratmaterials abstoßenden Kräften unterliegen, so dass es dort zu Si-O-Bindungen und nicht zu Si-Pr-Bindungen kommt. Das heißt, es werden an der Grenzfläche zum Substrat keine Silizide gebildet. Die stattdessen entstehenden Si-O-Bindungen an der Grenzfläche bewirken besonders gute elektrische Eigenschaften, wie sie von der  $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$ -Grenzfläche her bekannt sind.
- 20 Es existiert demnach eine chemisch reaktive Interface, die aus einem Si-Pr-Mischoxid der Form  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  besteht, das typischerweise nicht stöchiometrisch zusammengesetzt ist.

Die erfindungsgemäß vorgegebene Temperaturobergrenze von  $700^\circ\text{C}$  verhindert ein Zersetzen von Strukturelementen des entstehenden Bauelements, insbesondere der Mischoxidschicht selbst.

Bevorzugt erfolgen die Schritte des Abscheidens einer Mischoxidschicht und des Abscheidens einer Praseodymoxidschicht in Form eines Abscheidens aus der Gasphase. Auf diese Weise gelingt ein besonders kontrolliertes Wachstum dieser Schichten.

- 30 Die genannten Abscheideschritte können mittels Molekularstrahlabscheidung (Molekularstrahlepitaxie, Molecular Beam Epitaxy, MBE) oder mittels chemischer Gasphasenabscheidung (Chemical Vapor Deposition, CVD) erfolgen.

Bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht in einer sauerstoffhaltigen Gasatmosphäre. Wie weiter unten anhand von Figur 1 näher erläutert wird, hat sich gezeigt, dass die Gegenwart von Sauerstoff in der Gasatmosphäre der Wachstumskammer eine große Bedeutung für die Kontrolle der Schichtzusammensetzung hat. So entsteht insbesondere bei einem Mangel an Sauerstoff statt Siliziumdioxid  $\text{SiO}_2$  Siliziummonoxid  $\text{SiO}$ . Mit Hilfe des Sauerstoffangebots kann die Zusammensetzung, das heißt der Stöchiometriekoeffizient  $x$  des Silikats  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  gesteuert werden. Ein Sauerstoffüberangebot ist von großer Wichtigkeit für das Entstehen der Si-O-Bindungen im Bereich der Grenzfläche aufgrund der hohen Reaktivität von Silizium aus der siliziumhaltigen Schicht und Sauerstoff.

Auch für das Abscheiden der Praseodymoxidschicht ist eine sauerstoffhaltige Gasatmosphäre vorteilhaft.

Vorzugsweise kommt als ein Ausgangsmaterial für den Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht ein Material zum Einsatz, das Praseodymoxid in der Form  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  enthält oder sogar vollständig daraus besteht. Die Reduktion von Praseodymoxid  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  in der Wachstumskammer sorgt für einen Sauerstoffpartialdruck, mit dem das Schichtwachstum in der gewünschten Weise erfolgt. Mit Hilfe der Temperatur kann der Sauerstoffgehalt der Gasatmosphäre bei dieser Ausführungsform gesteuert werden.

Vorzugsweise erfolgt der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht bei einer Substrattemperatur von weniger als  $680^\circ\text{C}$ , insbesondere zwischen  $600^\circ\text{C}$  und  $650^\circ\text{C}$ . In diesem Temperaturbereich kann insbesondere bei Verwendung von  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  als Ausgangsmaterial ein ausreichendes Sauerstoffangebot gewährleistet werden, das zur Bildung des Mischoxids  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  führt.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand zweier Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein ternäres Phasendiagramm für das System Praseodym-Sauerstoff-Silizium und



Figur 2 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements.

Figur 1 zeigt ein ternäres Phasendiagramm für das System Praseodym-Sauerstoff-Silizium. Dieses Phasendiagramm wurde im Rahmen von Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung experimentell ermittelt.

Das Phasendiagramm weist drei Koordinatenachsen 10, 12 und 14 auf, die in der Form eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet sind. Den Eckpunkten des gleichseitigen Dreiecks sind die Elemente Praseodym, Sauerstoff und Silizium zugeordnet. Die Konzentration dieser Elemente entspricht dort dem Wert 1. Entlang den Seiten des Dreiecks sinkt die Konzentration des jeweiligen Elementes bis auf den Wert Null.

Bei einem Siliziumgehalt 0,5 liegt Siliziummonoxid  $\text{SiO}$  vor. Dieser Punkt des Phasendiagramms ist mit dem Bezugszeichen 16 gekennzeichnet. Bei einem Siliziumgehalt von 0,33 liegt Siliziumdioxid  $\text{SiO}_2$  vor. Dieser Punkt des Phasendiagramms ist mit dem Bezugszeichen 18 gekennzeichnet. Entlang der Koordinatenachse 14 enthält die Phase ausschließlich Praseodym und Sauerstoff und kein Silizium. Eingezeichnet ist der Punkt 20, bei dem Praseodymoxid in der Form  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  vorliegt.

In Form von Quadraten sind verschiedene experimentell ermittelte Phasen des Mischoxids innerhalb des von den drei Koordinatenachsen 10, 12 und 14 gebildeten Dreiecks dargestellt. Die experimentellen Werte wurden mit Hilfe der Photoelektronenspektroskopie anhand von im Temperaturbereich von 600 bis 650 °C gewachsenen Proben ermittelt. Zur Ermittlung ihrer Zusammensetzung wurden die Proben mit Synchrotronstrahlung angeregt und die Energie der aus der Probe austretenden Elektronen aufgezeichnet und analysiert. Es zeigt sich, dass die ermittelten Phasen je nach Sauerstoffgehalt auf einer quasibinären Schnittlinie 22 liegen, die eine Mischphase von Praseodymoxid  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  und Siliziummonoxid  $\text{SiO}$  darstellt, oder auf einer quasibinären Schnittgerade 24, die eine Mischphase von Praseodymoxid  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  und Siliziumdioxid  $\text{SiO}_2$  darstellt. An einem Punkt 25, bei dem die Schnittlinie 24 die vom Scheitel zur Basis führende Mittelsenkrechte des dreieckigen Phasendiagramms schneidet, wurde eine  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  Thortveitit-Struktur ermittelt. An diesem

Punkt 25 des Phasendiagramms sind der Anteil von Silizium und Praseodym im Mischoxid gleich.

Das Phasendiagramm der Figur 1 zeigt demnach, dass es gelungen ist, ein Praseodymsilikat bzw. eine pseudobinäre, nicht stöchiometrische Legierung  
5  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  mit einstellbarem Anteil  $x$  des Praseodymoxids  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  herzustellen.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements 30 mit einem Siliziumsubstrat 32, und einer daran angrenzenden Mischoxidschicht 34. An einer Grenzfläche 36 zwischen  
10 dem Siliziumsubstrat 32 und der Mischoxidschicht 34 weist das Substrat eine (001)-Oberfläche auf. Bei der Mischoxidschicht handelt es sich um eine  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$ -Schicht, bei der der Koeffizient  $x$  an der Grenzfläche 36 einen Wert 0,3 und an einer Grenzfläche 38 zu einer benachbarten Praseodymoxidschicht  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)$  40 einen Wert 1 aufweist. Oberhalb der Praseodymoxidschicht  
15 40 ist eine Polysiliziumschicht 42 angeordnet.

Das Substrat 32 ist hier in seiner inneren Struktur nicht näher dargestellt. Das Bauelement 30, das hier auch lediglich in einem Ausschnitt gezeigt ist, kann beispielsweise ein MOSFET oder ein Speicherelement eines DROM-Speichers sein.

Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement (30) mit einer siliziumhaltigen Schicht (32) und einer Praseodymoxidschicht (40), dadurch gekennzeichnet,  
5 dass zwischen der siliziumhaltigen Schicht (32) und der Praseodymoxidschicht (40) eine Mischoxidschicht (34) enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff angeordnet ist, die eine Schichtdicke von weniger als 5 Nanometern aufweist.
2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, bei dem die Mischoxidschicht (34) eine Schichtdicke von maximal 3 Nanometern aufweist.
3. Halbleiterbauelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das Mischoxid (34) ein pseudobinäres, nicht stöchiometrisches Silikat oder eine Legierung des Typs  
15  $(\text{Pr}_2\text{O}_3)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  ist.
4. Halbleiterbauelement nach Anspruch 3, bei dem x zwischen der siliziumhaltigen Schicht (32) und der Praseodymoxidschicht (40) ansteigt.
5. Halbleiterbauelement nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die siliziumhaltige Schicht (32) aus dotiertem oder undotiertem Silizium-Germanium besteht.
- 20 6. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die siliziumhaltige Schicht aus dotiertem oder undotiertem Silizium besteht.
7. Halbleiterbauelement nach Anspruch 5 oder 6, bei dem die Silizium-Germanium-Schicht bzw. die Siliziumschicht an der Grenzfläche zur Mischoxidschicht eine (001)-Orientierung  
25 aufweist.
8. MOSFET nach einem der vorstehenden Ansprüche.
9. Speicherzelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

10. Herstellungsverfahren für ein elektronisches Bauelement mit einem Schritt des Abscheidens einer Praseodymoxidschicht (40) auf einer siliziumhaltigen Schicht (32),  
dadurch gekennzeichnet, dass vor dem genannten Abscheideschritt ein Schritt des Abscheidens einer Mischoxidschicht (34) 5 enthaltend Silizium, Praseodym und Sauerstoff bei einer Substrattemperatur von weniger als 700°C erfolgt.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Schritte des Abscheidens einer Mischoxidschicht (34) und des Abscheidens einer Praseodymoxidschicht (40) in Form eines Abscheidens aus der Gasphase erfolgen. 10
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die Abscheideschritte mittels Molekularstrahlabscheidung erfolgen.
13. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die Abscheideschritte mittels chemischer Gasphasenabscheidung erfolgen. 15
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht (34) in einer sauerstoffhaltigen Gasatmosphäre erfolgt.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, bei dem der Schritt des Abscheidens der Praseodymoxidschicht (40) in einer sauerstoffhaltigen Gasatmosphäre erfolgt. 20
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, bei dem der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht (34) mit Hilfe eines Ausgangsmaterials erfolgt, das Praseodymoxid in der Form  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  25 enthält oder daraus besteht.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, bei dem der Schritt des Abscheidens der Praseodymoxidschicht (40) mit Hilfe eines Praseodymoxid in der Form  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  enthaltenden Ausgangsmaterials erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 17, bei dem der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht (34) bei einer Temperatur von maximal 680°C erfolgt.
- 5 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, bei dem der Schritt des Abscheidens der Mischoxidschicht (34) bei einer Temperatur zwischen 600°C und 650°C erfolgt.

1/2

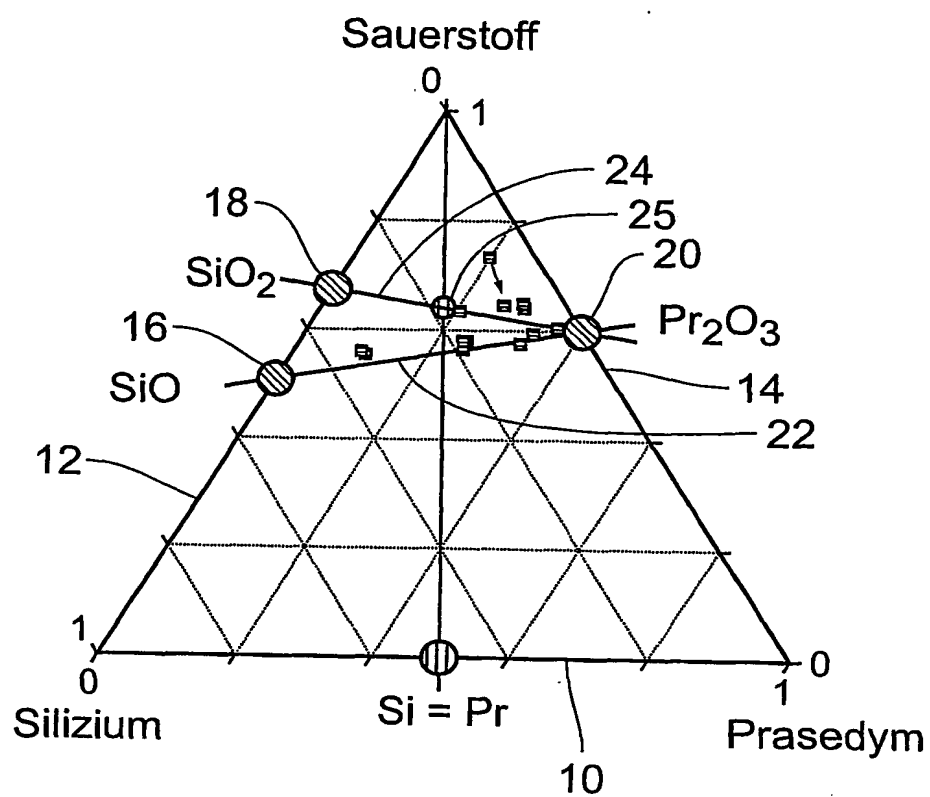


Fig. 1

2/2

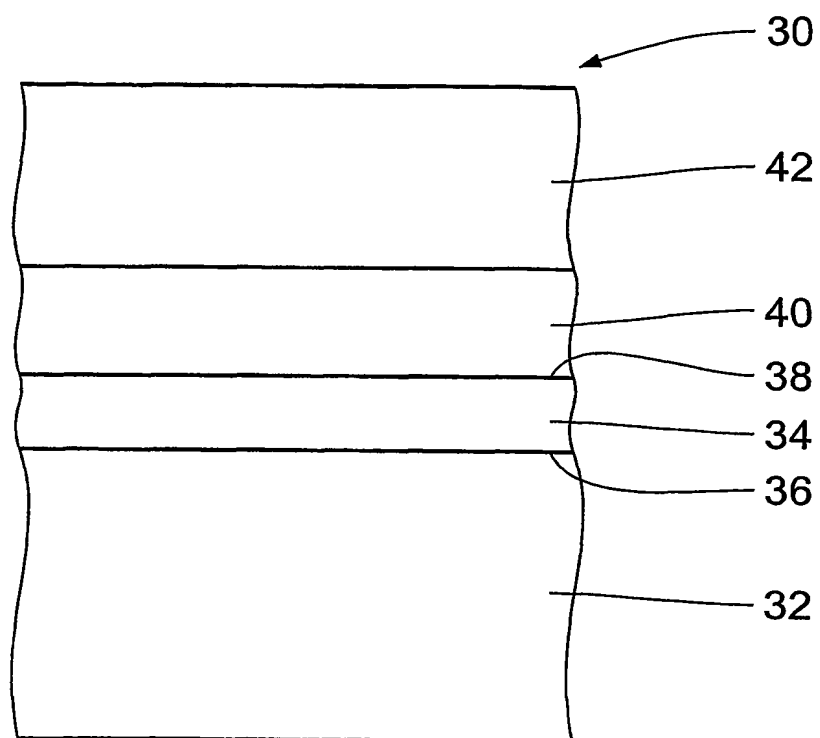


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/10625

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01L21/28 H01L29/51

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, COMPENDEX

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02 13275 A (IHP GMBH INNOVATIONS FOR HIGH ;OSTEN HANS JOERG (DE)) 14 February 2002 (2002-02-14) figure 10	1-19
X	MUSSIG H-J ET AL: "Can praseodymium oxide be an alternative high-K gate dielectric material for silicon integrated circuits?" INTEGRATED RELIABILITY WORKSHOP, FINAL REPORT 2001 IEEE INTERNATIONAL, 15 October 2001 (2001-10-15), pages 1-10, XP010587745 figure 13	1-19
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

**\* Special categories of cited documents :**

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 February 2004

Date of mailing of the international search report

24/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Nesso, S



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 03/10625

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	OSTEN H J ET AL: "Epitaxial growth of praseodymium oxide on silicon" MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, vol. 87, no. 3, 19 December 2001 (2001-12-19), pages 297-302, XP004310490 ISSN: 0921-5107 the whole document ---	1-19
A	OSTEN H J ET AL: "High-k gate dielectrics with ultra-low leakage current based on praseodymium oxide" ELECTRON DEVICE MEETING 2000 - IEDM TECHNICAL DIGEST INTERNATIONAL, 10 December 2000 (2000-12-10), pages 653-656, XP010531848 the whole document ---	1-19
A	OSTEN H.J. ET AL: "Epitaxial, high-K dielectrics on silicon: the example of praseodymium oxide" MICROELECTRONICS RELIABILITY, vol. 41, - 2001 pages 991-994, XP002265638 the whole document ---	1-19
A	SANGHUN JEON ET AL: "Excellent electrical characteristics of lanthanide (Pr, Nd, Sm, Gd, and Dy) oxide and lanthanide-doped oxide for MOS gate dielectric applications" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING 2001. IEDM. TECHNICAL DIGEST. WASHINGTON, DC, DEC. 2 - 5, 2001, NEW YORK, NY: IEEE, US, 2 December 2001 (2001-12-02), pages 2061-2064, XP010575169 ISBN: 0-7803-7050-3 the whole document -----	1-19

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/10625

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0213275	A	14-02-2002	DE 10039327 A1	14-02-2002
			WO 0213275 A1	14-02-2002
			US 2003193061 A1	16-10-2003
<hr/>				

## INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

International Aktzeichen

PCT/EP 03/10625

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L21/28 H01L29/51

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, COMPENDEX

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 02 13275 A (IHP GMBH INNOVATIONS FOR HIGH ;OSTEN HANS JOERG (DE)) 14. Februar 2002 (2002-02-14) Abbildung 10	1-19
X	MUSSIG H-J ET AL: "Can praseodymium oxide be an alternative high-K gate dielectric material for silicon integrated circuits?" INTEGRATED RELIABILITY WORKSHOP, FINAL REPORT 2001 IEEE INTERNATIONAL, 15. Oktober 2001 (2001-10-15), Seiten 1-10, XP010587745 Abbildung 13, -/-	1-19

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
  - \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
  - \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
  - \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
  - \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Februar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

24/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Nesso, S

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	OSTEN H J ET AL: "Epitaxial growth of praseodymium oxide on silicon" MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH, Bd. 87, Nr. 3, 19. Dezember 2001 (2001-12-19), Seiten 297-302, XP004310490 ISSN: 0921-5107 das ganze Dokument	1-19
A	OSTEN H J ET AL: "High-k gate dielectrics with ultra-low leakage current based on praseodymium oxide" ELECTRON DEVICE MEETING 2000 - IEDM TECHNICAL DIGEST INTERNATIONAL, 10. Dezember 2000 (2000-12-10), Seiten 653-656, XP010531848 das ganze Dokument	1-19
A	OSTEN H.J. ET AL: "Epitaxial, high-K dielectrics on silicon: the example of praseodymium oxide" MICROELECTRONICS RELIABILITY, Bd. 41, - 2001 Seiten 991-994, XP002265638 das ganze Dokument	1-19
A	SANGHUN JEON ET AL: "Excellent electrical characteristics of lanthanide (Pr, Nd, Sm, Gd, and Dy) oxide and lanthanide-doped oxide for MOS gate dielectric applications" INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING 2001. IEDM. TECHNICAL DIGEST. WASHINGTON, DC, DEC. 2 - 5, 2001, NEW YORK, NY: IEEE, US, 2. Dezember 2001 (2001-12-02), Seiten 2061-2064, XP010575169 ISBN: 0-7803-7050-3 das ganze Dokument	1-19

# INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/10625

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0213275 A	14-02-2002	DE 10039327 A1	14-02-2002
		WO 0213275 A1	14-02-2002
		US 2003193061 A1	16-10-2003